Vorträge.

Bericht über optische Untersuchungen.

Von dem w. M. Prof. Jos. Petzval.

(Mitgetheilt in der Sitzung am 12. März 1857.)

Ich habe in der 32. Versammlung der Naturforscher und Ärzte zu Wien den hier versammelten Gelehrten der physicalischen und mathematischen Section einige Photographien gezeigt, gemacht mit einem neuen Cameraobscura-Ojective, welches von mir speciell zu dem Zwecke berechnet worden ist, um zur Aufnahme von Landschaften, Copiren von Karten u. s. w. zu dienen. Die Eigenschaften dieses Objectives sollten sein: verhältnissmässig geringe Öffnung, dabei grosse, bis an den Rand scharfe Bilder, und möglichst gleiche Lichtstärke von der Mitte bis in die Ecken. Ich habe ferner der Versammlung einen Abriss mitgetheilt meiner sehr ausgedehnten dioptrischen Arbeiten, von welchen jedoch nur ein sehr kurzer Auszug im Tageblatte der Versammlung erschienen ist. Die aufgezeigten Proben scheinen Beifall gefunden zu haben, denn ich werde seither durch zahlreiche Zuschriften bestürmt und um Auskunft angegangen, wo das gedruckte Memoire zu finden sei, in dem die Theorie des Landschaftsobjectives enthalten, und ob und wo das Objectiv selbst käuflich im Handel vorkomme.

Man hegt also, wie ich merke, über die Natur dieser Leistung einen mehrfach unrichtigen Begriff, indem man erstens meint, sie sei das Resultat einer sehr compendiösen Theorie, die sich leicht in einer Schrift von geringer Ausdehnung niederlegen lässt, was nicht der Fall ist und auch nicht sein kann; und zweitens voraussetzt, ich hätte diesen optischen Gegenstand ausführen lassen durch einen praktischen Künstler, was wieder nicht der Fall ist, denn die paar Exemplare, in deren Besitz ich mich befinde, sind aus meiner eigenen kleinen Werkstätte hervorgegangen, in der ich nur Proben mit derjenigen Vorsicht und Genauigkeit ausführen kann, die der Gegenstand erheischt, keineswegs aber das Publicum mit käuflichen Apparaten versorgen.

Ich habe einige dieser Zuschriften kurz und ungenügend zu beantworten mich genöthigt gesehen. Genügende Auskunft zu geben war beim besten Willen nicht möglich. Ich halte es aber jetzt für zweckmässig, um die an mich gerichteten Anfragen in vollständigerer Weise beantworten zu können, der kaiserlichen Akademie einen Abriss des Inhaltes dieser meiner langwierigen Untersuchungen mitzutheilen zur Aufnahme in die Sitzungsberichte, um vorkommenden Falles alle diejenigen, die sich für den Gegenstand interessiren, darauf verweisen zu können. Ich halte mich dazu verpflichtet, weil auch ihrerseits die kaiserliche Akademie auf das endliche Zustandekommen dieser Arbeiten förderlich eingewirkt und den Druck derselben übernommen hat.

Ich glaube, dass derselbe am zweckmässigsten beginnen kann, wenn der zweite Band meines der Vollendung bereits nahen Werkes über die Integration der linearen Differentialgleichungen die Presse bereits verlassen haben wird.

Meine Untersuchungen beginnen mit der Erörterung der Aufgabe, den Gang eines Lichtstrahles zu bestimmen, welcher an der Trennungsfläche zweier verschiedener optischer Mittel, die als Rotationsfläche vorausgesetzt wird, anlangt. Daran knüpft sich dann naturgemäss die Bestimmung des Weges eines solchen Strahles durch mehrere solche um dieselbe Rotationsaxe erzeugte Flächen, bezüglich also durch eine gewisse Anzahl von Linsen, oder Spiegel und Linsen.

Es ist dies eine alte Aufgabe, deren Lösung schon von den Mathematikern älterer Zeiten, wie Euler, de la Cail; später Gauss, Biot, Schleiermacher, Littrow, Stampfer, Grunert unternommen wurde, aber begreiflicherweise schon darum nicht in diesem Grade der Ausdehnung, in welchem es mir gelungen ist, sie hinzustellen, weil diese gelehrten Männer bei den damaligen wissenschaftlichen Bedürfnissen keine rechte Veranlassung dazu fanden und auch darum, weil sie über die ausgiebigen Hilfsmittel, namentlich Rechenkräfte, nicht verfügten, die mir beim Beginne dieser Arbeit durch die Gnade Sr. kaiserlichen Hoheit des Erzherzogs Ludwig zu Theil wurden und gegenwärtig durch die Unterstützung von Seite des k. k. Ministeriums des öffentlichen Unterrichtes und der kais. Akademie der Wissenschaften zu Theil werden. Ich glaube nicht, dass diese Arbeiten je entstanden sein würden, wenn nicht seit Daguerre's wunderbarer Erfindung zu den damaligen optischen Bedürfnissen, die

sich beschränkten auf Fernrohr und Mikroskop, die einzigen optischen Instrumente, welche die Wissenschaft in möglichst hohem Grade von Vollkommenheit gebraucht hat, auch noch die Camera obscura hinzugekommen wäre, die sonst nur eine optisch-physicalische Spielerei, jetzt als wichtiges Instrument auftrat, um das Flüchtigste und Unkörperlichste in der Welt der Erscheinungen, das Lichtbild nämlich, auf den Stoff festzubannen.

Hier ist uns also zuerst das Bedürfniss grosser, lichtstarker, so viel als möglich ungekrümmter und perspectivisch richtiger Bilder entgegengetreten und hat den mathematischen Optiker gezwungen, tiefer einzugehen in die Eigenschaften desjenigen, was man ein Bild zu nennen pflegt. Die ursprünglich der leichteren Rechnung wegen gemachte Voraussetzung, der an einem Flächensysteme gebrochene Strahl entferne sich stets nur sehr wenig von der Axe desselben, und schliesse mit dieser Axe einen stets nur sehr kleinen Winkel ein, die auch so lang eine gerechtfertigte war, als man nur Fernrohr und Mikroskop ohne Anspruch auf mehr Gesichtsfeld oder Lichtstärke wissenschaftlich behandelte, musste aufgegeben werden. Die Coordinaten des Punktes, in welchem ein solcher Strahl eine an einen beliebigen Ort gestellte Ebene schneidet, mussten auf zweckgemässe Weise in Reihen entwickelt, die Reihen weit genug fortgesetzt und die Glieder derselben analysirt, hieraus die Unvollkommenheit der Bilder abgeleitet, in zweckdienlicher Weise classificirt und so eine eigene Pathologie, wenn man sich so ausdrücken darf, dieser optischen Gebilde aufgestellt werden.

Man muss sich indess nicht vorstellen, das all' die mit dieser Arbeit verbundenen ungeheuren Mühen lediglich zu Gunsten der Camera obscura unternommen wurden, denn es ist selten, ja beinahe nie der Fall, dass eine beträchtliche Ausdehnung des theoretischen Wissens nicht zu einer mehr oder minder gründlichen Reform des Bekannten und zur Verbesserung in derjenigen praktischen Kunst Veranlassung gebe, der eine solche Theorie zu Grunde liegt. In der That führt die erweiterte Optik zu sehr wirksamen Mitteln, auch das Fernrohr und das Mikroskop zu veredeln. Die Verbesserungen sind aber von einer Art, dass man mit ihnen noch vor zwanzig Jahren bei der gelehrten Welt schwerlich die der darauf gewendeten Mühe entsprechende Anerkennung gefunden hätte, und auch jetzt bei sehr geänderten Umständen vermuthlich noch lange nicht finden wird, genau

so, wie auch das zum Porträtiren bestimmte Objectiv der Camera obscura welches ich im Jahre 1841 veröffentlichte, nicht alsogleich die gebührende Anerkennung fand, sondern erst zur Entwicklung der photographischen Kunst das Seinige beitragen musste. Jetzt jedoch, wo eine neue Classe von Künstlern, nämlich Photographen erstanden ist, mag beinahe Niemand mehr mit einem anderen, als diesem Apparate arbeiten. Es wird sich einmal Ähnliches ereignen mit dem Fernrohr. Die Astronomen werden es anfänglich wenig achten, wenn ich ihnen durch einen Mehraufwand von optischen Mitteln weiter nichts, als die Länge des Rohres auf die Hälfte reducire. Dies ist nämlich die einzige wichtige Verbesserung, die sich an diesem optischen Instrumente anbringen lässt. Gleichwohl werden die auf diese Weise handsamer gemachten Instrumente die jetzt an der Sternwarte vorhandenen allmählich ganz und gar verdrängen, gerade so, wie das achromatische Fernrohr allmählich die übermässigen unachromatischen Tuben verdrängt hat, ungeachtet es vor ihnen keinen anderen Vorzug besass, als den der grösseren Handsamkeit.

Auf ähnliche Weise wird es dem Mikroskope ergehen und ich halte mich für überzeugt, dass das erst nach meiner Berechnung ausgeführte Sonnenmikroskop-Objectiv, zu photographischen Abbildungen bestimmt, zu gleicher Zeit die Bedürfnisse und die Ansichten derjenigen Gelehrten, die von diesem Instrumente Gebrauch machen, allmählich vollständig umkehren wird, ungeachtet ein solches erstes Erzeugniss einer erst emporkeimenden Kunst das edelste derselben der Natur der Sache nach nicht sein kann.

Also nicht nur die Camera obscura, sondern vielmehr alle wichtigeren optischen Instrumente sind mit Hilfe der strengeren und entwickelten Wissenschaft gewisser Verbesserungen fähig, die sich aber erst mit der Zeit die gebührende Anerkennung verschaffen können, vermuthlich langsam schon wegen der spärlichen Hilfsmittel der jetzt bestehenden optischen Kunst, die nach genauen Rechnungen zu arbeiten ungewohnt ist, dann wegen der beispiellos ausgedehnten Entwicklung der Theorie, durch die man natürlich durchgekommen sein muss, wenn man über dieselbe einen klaren Überblick gewinnen will.

Die oben angedeuteten Rechnungen sind fortgesetzt worden bis zu den Gliedern der 7. Ordnung inclusive, so zwar, dass man durch die vorhandene Theorie in den Stand gesetzt ist, Linsen und Spiegel-Combinationen zu entwerfen, deren Unvollkommenheiten nur noch der

9. Grössenordnung angehören. Es ist also hier die Annäherung so weit getrieben, wie in der Mechanik des Himmels, wo ebenfalls durch die Bemühungen Burkhardt's, die Entwicklung der Störungsfunction in Reihen bis zu den Gliedern der 7. Ordnung fortgesetzt worden ist.

Diese genaue Bestimmung des Ganges eines Lichtstrahles durch ein Flächensystem bildet nun, so zu sagen, den Stamm meiner Untersuchungen und alles Übrige hat im Wesentlichen nur den Zweck, dieselben praktisch brauchbar zu machen und dem mathematischen Wissenschaftsforscher ein neues Mittel an die Hand zu geben, in schöpferischem Geiste Gebilde hervorzubringen, die theils zur Erweiterung der Wissenschaft und theils zur Verschönerung des socialen Lebens beitragen.

Es versteht sich von selbst, dass diese Arbeit im Wesentlichen nicht in ihrer ganzen Ausdehnung von mir und den Genossen meiner Bemühungen herrührt. In erster Annäherung war nämlich das Problem schon längst erledigt. Es ist jedoch ein sehr grosser Unterschied zwischen einer Theorie, die so zu sagen den Schlussstein eines wissenschaftlichen Gebäudes bildet, und einer anderen, auf die sich noch fernere Lehren durch weitläufige Rechnungen stützen und deren Formeln daher vielfältig als Bestandtheile in andere viel ausgedehntere und verwickeltere eingehen.

Es geht uns hier, wie mit den Geräthschaften, die der Mensch zu seiner Bequemlichkeit geschaffen hat. So lange er daheim bleibt, können sie immerhin voluminös bleiben, ohne dass der Bequemlichkeit dadurch Eintrag geschieht. Sollten sie jedoch auf einer grossen mühevollen Reise dienen, so kann man sie nicht handsam und compendiös genug darstellen und versucht dies auch selbst auf Kosten der wie billig ausser Acht gesetzten Eleganz. So ist es mir mit der ersten Annäherung des optischen Problemes gegangen. Ich sah mich Anfangs mit Bedauern genöthigt, die vier Fundamental-Coëfficienten der ersten Approximation nicht in der sehr eleganten Form von Kettenbrüchen, wie Euler und Gauss gethan, sondern in zwei anderen, wesentlich von einander verschiedenen Gestalten darzustellen, zum Behufe der höheren Approximationen nämlich als Factorenfolgen, zur Begründung der Theorie des Achromatismus hingegen als ausgedehnte algebraische Polynome, die aber nach einem einfachen combinatorischen Verfahren sehr rasch gebildet werden und noch rascher nach dem Berechnungsindex differentiirt zu werden vermögen.

Ist daher die erste Annäherung der Theorie der optischen Instrumente auch dem Wesen nach nicht mein Eigenthum, so war es doch unerlässlich, die Untersuchung von derselben anzuheben, weil sie mindestens der Form nach neu aufgebaut werden musste, um damit die ferneren Schritte zu erleichtern.

Diese erste Annäherung nun mit den daraus folgenden einfachen und eleganten Sätzen über den Zusammenhang zwischen Lichtstärke, Vergrösserungszahl, Gesichtsfeld und Grösse des Bildes, ferner den praktischen Anwendungen auf die Theorie des Achromatismus, des falschen Lichtes, der Oculare u. s. w. gleichfalls in erster Annäherung bilden einen ersten Abschnitt des optischen Werkes, welches ich der kaiserl. Akademie demnächst vorzulegen die Ehre haben werde.

Die besondere Fassung, in welcher ich diese erste Annäherung der optischen Theorie wieder gebe, hat aber nicht nur den theoretischen Vortheil, die ferneren Approximationen schicklicher einzuleiten, sondern sie scheint mir auch noch einen anderen praktischen Vortheil zu bringen. Es sei mir vergönnt, auf diesen Vortheil aufmerksam zu machen.

Die Theorie der Oculare ist zwar bisher mehr Gegenstand der Bemühung mathematischer Optiker geworden, als jene der Objective; und wir besitzen hierüber eine ziemlich reiche Auswahl sehr schöner Arbeiten, von welchen ich die von Biot im 19. Bande der Memoiren der Pariser Akademie der Wissenschaften nennen möchte, welche die beträchtliche Ausdehnung von mehr als 300 Seiten hat, die jedoch ihrer Fassung nach für den Mathematiker vom Fache geschrieben ist. Die Praxis ist auch nicht zurückgeblieben hinter der Theorie: denn wiewohl es mehrere bekannte Sorten gibt sowohl astronomischer, wie auch terrestrischer Oculare, zusammengesetzt aus zwei, drei oder vier Linsen, sind dennoch unsere Bedürfnisse in dieser Beziehung nichts weniger als gedeckt. Jeder neue optische Zweck nämlich führt gewöhnlich mit sich das Bedürfniss eines neuen anders construirten Oculares, welches zwar in der Regel von dem Wissenschaftsforscher, welcher diesen neuen Zweck verfolgt, aus Mangel an genügender Einsicht nicht unmittelbar gefühlt wird, sich aber in der Folge doch geltend macht.

Ich könnte Ihnen hievon Beweise anführen in grosser Menge. Erlauben Sie mir, nur einiger Thatsachen Erwähnung zu thun. Man hat in der neuesten Zeit versucht, photographische Abbildungen mikroskopischer Gegenstände zu erzeugen. Es wurden der Classe

solche Proben vorgezeigt, aber von den Sachverständigen als ungenügend erkannt, indem sie einfach erklärten, das sei ja nicht das, was man mit einem guten Mikroskope sieht. Allein sie waren ja mit einem guten Mikroskope gemacht, und der Vorzeiger behauptete, dass seine Proben sowohl, wie auch sein verwendetes optische Instrument an Güte nichts zu wünschen übrig liessen, da letzteres keinen chemischen Focus besitze. Wer nun in die Natur dieser optischen Gegenstände eine tiefere Einsicht gewonnen hat, der weiss, dass ein gewöhnliches Ocular weder einen chemischen noch optischen Focus habe und aus mehreren Gründen zur photographischen Aufnahme mikroskopischer Gegenstände nicht geeignet sei, und wenn angewendet, ein Erzeugniss von untergeordnetem Werthe liefern müsse. Es muss hier nämlich das menschliche Auge als letzter, mit einer gewissen Elasticität sich accommodirender und die vorkommenden Abweichungen ausgleichender Ocularbestandtheil hinzutreten, und will man durch Objectiv und Ocular eines Mikroskopes photographische Abbildungen erzielen, so ist es unerlässlich, dass man zwar kein anderes Objectiv, wohl aber ein anders gebautes Ocular habe, mit einem sogenannten Focus und ebenem Bilde. Wer daher in der mikroskopischen Photographie etwas Erspriessliches zu leisten wünscht, hätte sich vor Allem um ein passendes Ocular umzusehen.

Um ein zweites Beispiel zu haben, erinnere ich an die Bedingungen der Letztzeit, photographische Abbildungen zu erzielen von dem unserer Erde am nächsten stehenden Himmelskörper, dem Monde. Wir haben eine solche Karte des Ringgebirges Copernicus gesehen, aufgenommen mit einem 9 zölligen Refractor und erzielt durch eine sehr mühsame und langwierige mikrometrische Triangulirung, Zeichnung und Photographiren derselben, und es hat dieses Resultat gewiss bei manchem Astronomen den Wunsch rege gemacht, wirkliche photographische Abbildungen des Mondes, die verschiedenen Phasen etwa von Stunde zu Stunde darstellend, zu erhalten. Es ist vorauszusehen, dass man in der Folge diese Arbeit vornehmen und auch durchführen wird. Es gehören jedoch hiezu zweierlei verschiedene Dinge, nämlich erstens verbesserte, zu diesem Zwecke dienende Refractoruhren und zweitens wieder ein neues Ocular, denn mit dem Objective allein werden die Bilder zu klein und mit den jetzt gebräuchlichen Ocularen würden gewiss Sachkenner das Urtheil fällen, dies sei ja nicht dasjenige, was man mittelst eines guten Fernrohres sieht.

Ein drittes sehr eklatantes Beispiel liefert uns diejenige Gattung von Fernröhren, die man dialytische nennt. Man kann von ihnen behaupten, dass sie ein untergeordnetes, nur durch einen besonderen Umstand, der aber in der Folge seine Geltung verloren hat, ins Leben gerufenes Erzeugniss seien, durch den Umstand nämlich, dass man zu einer gewissen Zeit mit der Erzeugung des Flintglases nicht so gut umzugehen wusste, wie mit jener des Crownglases, was sich jetzt ganz behoben, ja beinahe umgekehrt hat. Sie sind nicht streng achromatisch, gestatten nur ein beschränktes Gesichtsfeld, welches trotz dem doch nicht gleichförmig scharf ist, indem in der Mitte desselben das Bild eines Sternes z. B. aussergewöhnlich hell und scharf erscheint, während am Rande ein solches Gemisch von allerlei verschiedenen Abweichungen eintritt, dass derselbe Stern alldort am Lichte geschwächt und so zu sagen in einen Nebelstern auseinander gezogen erscheint. Dieser Sachverhalt nun ist kein nothwendiger und rührt im Wesentlichen daher, weil man sich um das passende Ocular des Dialyten zu wenig gekümmert hat, mittelst dessen ein eben so grosses Gesichtsfeld, wie bei anderen Achromaten und ein gleichförmig scharfes Bild erzielt werden kann.

Um endlich noch ein viertes Beispiel zu haben, erwähne ich, dass ich selbst zu eigenen Zwecken ein cometensucherartiges Fernrohr benöthige, kurz gebaut, mit 5 Zoll Öffnung des Objectives, geringer, etwa 20 facher Vergrösserung, mit einem terrestrischen Ocular, welches jedoch weder ein Galiläisches, noch das bekannte, aus vier Linsen bestehende sein darf. Ich darf es nämlich, um nicht Licht zu verlieren, höchstens aus zweien zusammensetzen. Ich knüpfe daran den Schluss, dass Oculare so zu sagen zu den Kleinwerkzeugen der Wissenschaft gehören, die man etwa wie Feilen, Dreh- und Schraubstähle in grosser Mannigfaltigkeit besitzen muss, und die sich ein jeder Gelehrte, den sein Beruf entweder ans Mikroskop oder an das Fernrohr stellt, zu seinem speciellen Zwecke selbst sollte entwerfen und berechnen können. Hiezu gehört aber, dass die Theorie einfach, klar und so populär als möglich gehalten werde.

Ich habe mich einerseits bemüht, dies zu leisten, und bringe auch anderseits eine Auswahl verschiedener Oculare theils zum Zwecke des Sehens, theils zu jenem des photographischen Abbildens, ohne im Übrigen im mindesten anzunehmen, dass der Gegenstand erschöpft sei. Ich bin im Gegentheil überzeugt, dass, wie bereits gesagt, jeder

neue optische Zweck zu neuen Erzeugnissen dieser Art Veranlassung geben könne.

Meine Theorie ist aus diesem Grunde so populär gehalten, wie möglich, und ich habe zwar den eleganten analytischen Weg, der auf dem Gebrauche dreier Coordinaten im Raume beruht, nicht verlassen, habe jedoch für diejenigen Optiker, denen so tiefe Kenntnisse der analytischen Geometrie nicht zu Gebote stehen, den Gebrauch dieser Raumcoordinaten vermieden und überhaupt Alles gethan, was dieser Abtheilung der Dioptrik Verbreitung in grösseren Kreisen verschaffen kann.

Der zweite Abschnitt behandelt einen Gegenstand, den man bisher einer streng wissenschaftlichen Erörterung unwerth gehalten zu haben scheint, nämlich die Beleuchtungslehre. Dies leidet nur eine Ausnahme in Bezug auf Leuchtthürme, um die sich Fresnel durch seine genialen Linsen- und Prismen-Constructionen die glänzendsten Verdienste gesammelt hat. Wir besitzen jedoch von ihm keine wissenschaftlich geordnete Beleuchtungslehre selbst in Bezug auf den speciellen Zweck der Leuchtthürme, und im Übrigen kann man noch zur Stunde behaupten, dass bei allen bisher in Anwendung gesetzten Beleuchtungsapparaten, die sich einer künstlichen Lichtquelle bedienen, nur ein sehr geringer Theil des Lichtes von derselben wirklich nutzbringende Verwendung findet, während der weit beträchtlichere Rest nicht nur Nichts nützt, sondern sogar theils durch erzeugtes sogenanntes falsches Licht, theils durch die mit demselben verknüpfte Wärme-Entwickelung schädlich auftritt. Selbst unsere Strassenbeleuchtung ist factisch mehr dazu da, das Himmelsgewölbe, als die Pfade zu erleuchten, die wir auf Erden wandeln.

Aber auch, wenn die äusserst intensive Leuchtkraft der Sonne zu Beleuchtungszwecken verwendet wird, wo es auf den ersten Blick scheinen möchte, dass es ganz überflüssig sei, mit dem in Fülle daher gespendeten Agens noch ökonomisch umzugeben, findet man bei näherer Betrachtung der Fälle genug z. B. wenn man die einfachsten Beugungserscheinungen auf einen Schirm projicirt sehen will, wo selbst das intensivste Sonnenlicht nur bei der äussersten Zweckmässigkeit der Verwendung ausreicht.

Dies mag vorläufig hinreichen, um auf die Wichtigkeit der Beleuchtungslehre aufmerksam zu machen.

Die zu Beleuchtungszwecken dienenden Geräthschaften können in sehr mannigfaltige Formen gebracht werden. Sie dienen entweder zur Beleuchtung naher oder ferner Gegenstände, und haben im letzteren Falle entweder rund herum längs einer gewissen Ebene oder konischen Fläche, oder nur nach einer beschränkten Anzahl geradliniger Richtungen, oder endlich nur nach einem einzigen Punkte Licht zu senden. Diese verschiedenen Zwecke begründen eine viel grössere Mannigfaltigkeit in den Formen, als bei den anderen optischen, zur Erzeugung eines Bildes bestimmten Instrumenten. Überdies verlangt der Gegenstand seiner Natur nach eine ganz andere Behandlung. Während ich nämlich immerhin annehmen kann, dass ein zum Sehen bestimmter, in ein Fernrohr, Mikroskop, Camera obscura eintretender Strahl einen sehr kleinen Winkel mit der Axe des Instrumentes einschliesst, dessen jede Function nach aufsteigenden Potenzen desselben in eine erklecklich convergirende Reihe entwickelt werden kann, von der man nur einige Anfangsglieder braucht, erheischt es die ökonomische Verwendung des Lichtes, das von einer Lichtquelle gewöhnlich nach allen Seiten ausgeht, dass alle, welche immer Neigung habenden Strahlen und die verschiedensten Winkel, deren Werth von Null bis 180° veränderlich ist, ungebrochen und so ihrer Bestimmung zugeführt werden.

Dieser Umstand könnte die Behandlung des Beleuchtungsproblems sehr erschweren, wenn nicht andererseits wieder eine kleine Erleichterung in der Natur der Sache läge, die darin begründet ist, dass es zu diesem Zwecke nicht nothwendig erscheint, jeden einzelnen der Lichtquelle entströmenden Strahl mit mathematischer Genauigkeit zu verfolgen, sondern überhaupt nur nach einen bestimmten Ort von begrenzter Ausdehnung Licht zu bringen. Dieser Sachverhalt ermöglicht nämlich eine andere Behandlungsweise, vermöge deren man nicht mehr den Gang eines jeden einzelnen Strahles verfolgt, sondern dieselben bündelweise zusammennimmt und untersucht, welche Veränderung ein solches Bündel an einer brechenden oder reflectirenden Fläche erleidet.

Durch diese ganz neue und noch von Niemanden versuchte Behandlungsweise des Problems wird es nun möglich, ihm eine mathematische wissenschaftliche Behandlung angedeihen zu lassen, und es ergab sich folgende für zweckmässig erkannte Gliederung dieses nicht uninteressanten Zweiges der Lichtlehre.

Erstens: Die verschiedenen natürlichen und künstlichen Lichtquellen werden aufgezählt, ihre Art, Licht zu spenden, mathematisch charakterisirt und untersucht, welche die Lichtmenge sei, die sie vor der Hand noch ohne Anwendung optischer und katoptrischer Mittel nach verschiedenen Seiten aussenden. Es ist diese die erste und wichtigste Fundamentalkenntniss, ohne die es unmöglich ist, die Wirkung eines wie immer gebauten Beleuchtungsapparates zu beurtheilen.

Zweitens: Nun folgt eine allgemeine Untersuchung der elementaren optischen Mittel, Linsen und Spiegel, welche aber begreiflicher Weise nicht dazu dienen können, Licht zu erzeugen oder zu vermehren, sondern eben nur einen sogenannten Tauschhandel einzuleiten zwischen Lichtstärke und Gesichtsfeld, oder mit anderen Worten, Ausdehnung des beleuchteten Fleckes; so wie auch in der Mechanik durch Maschinen keine Kraft erzeugt, sondern nur ein Tauschhandel zwischen Kraft und Geschwindigkeit eingeleitet wird.

Es ist gewiss merkwürdig, dass diese keineswegs aus der Tiefe der Analysis geschöpften Betrachtungen, die, wenn auch in eigener Weise angestellt, doch immer noch populärer Natur sind, zu wichtigen theoretischen Thatsachen führen, die man bisher nicht gekannt, oder doch wenigstens meines Wissens nirgends ausgesprochen hat; z. B. jeder gekrümmte, wie immer gestellte Spiegel, dem eine Leuchtquelle Licht zusendet, zerfällt in zwei Abtheilungen, von denen ich die eine die optische nenne, weil sie geeignet ist die Leuchtquelle abzubilden, die andere hingegen die nicht optische, weil sie von der Lichtquelle ein Bild zu erzeugen unfähig ist. Wenn man nämlich diese letzteren in unendlich kleine Elemente zerlegt, so wird ein jedes derselben, wie ein kleiner Planspiegel wirkend, allerdings von der Leuchtquelle irgend wo ein Bild machen können, es werden aber die von mehreren Elementen herrührenden Bilder sich nicht decken, sondern in verschiedener Grösse und in allen möglichen Richtungen dermassen über einander lagern, dass ein und derselbe Punkt der Leuchtquelle von einem gewissen Spiegelelemente unten abgebildet wird, von dem anderen hingegen oben, oder von dem einen rechts, von dem andern hingegen links.

Dieser Umstand ist es nun, welcher zu Beleuchtungszwecken den nicht optischen Theil des Spiegels vorzugsweise empfiehlt, denn man wünscht ja mit der Leuchtquelle einen gewissen beleuchteten Gegen-

stand, aber nicht die Leuchtquelle selbst zu sehen. Ein Bild dieser letzteren vermag sogar sehr störend aufzutreten.

Ich habe Gelegenheit gehabt Gasmikroskope, und sogenannte Nebelbilderapparate zu sehen, bei welchen in das Gesichtsfeld des abgebildeten mikroskopischen Gegenstandes oder in eine heitere sonnige Landschaft hinein von oben herab stets eine räthselhafte schwarze Gewitterwolke hing. Diese war aber nichts, als das verwaschene Bild des Schnabels, aus dem das Knallgas auf den Kalkcylinder strömt oder was noch schlimmer, es befindet sich in dem an die Wand projicirten Bilde ein grosser schwarzer verwaschener Ring, der nun wieder nichts anderes ist, als die abgebildete Fassung einer Beleuchtungslinse.

Solche Beleuchtungsapparate sind nun fehlerhaft, und es besteht der Fehler darin, dass man lauter wirklich bildmachende optische Mittel verwendet und aus ihnen den Beleuchtungsapparat zusammengesetzt hat.

Diese wichtige theoretische Thatsache habe ich bisher nirgends ausgesprochen gefunden. Eine zweite ebenso wichtige war bisher in der Optik bekannt, ja man kann sagen, die tatonirende praktische Optik hat sich bisher bei dem Mangel strenger wissenschaftlicher Hilfsmittel so zu sagen davon genährt, nämlich: Wenn man von einer Lichtquelle oder bezüglich von einem Gegenstande ein in erster Annäherung treues Bild haben will, einem Gegenstande, der gegen die ihn abbildenden Linsen von geringer Ausdehnung ist, somit jedem Elemente einer Beleuchtungslinse einen sehr spitzen Strahlenkegel zusendet, so hat man die Linsenkrümmungen, wie viel immer an der Zahl, so einzurichten, dass der Axenstrahl eines jeden Strahlenkegels an jeder Vor- und Hinterfläche unter demselben Winkel und in gleichem Sinne gebrochen wird. Dieses Princip der gleichmässigen Vertheilung der Brechungen war, wie gesagt, durch eine Art von praktischem Instinct in der Optik gekannt und geübt. Ihm mehr, als tiefsinnigen mathematischen Berechnungen verdanken wir die ausgezeichneten Mikroskope der Neuzeit. Bewiesen war es aber bisher nicht. Die von mir gewählte Behandlungsweise gibt aber von demselben einen eben so klaren, wie einfachen Beweis. Ihm entspringt eine Methode, durch die sich der Beleuchtungskünstler die Krümmungen all' seiner Linsen durch eine leichte geometrische Construction ganz ohne Rechnung mit vollkommen zureichender Genauigkeit bestimmen kann.

Es dürfte hier auf den ersten Anblick beinahe unnütz scheinen, den Beweis zu führen einer ohnehin, wenn auch ohne Begründung instinctmässig für richtig anerkannten allgemeinen Regel; bei aufmerksamer Betrachtung jedoch sieht man, dass dem lange nicht so sei. Der Beweis nämlich stellt nicht nur die Regel fest, sondern auch die Bedingungen, an die ihre Richtigkeit geknüpft ist. Sie sind: mässige Öffnungen der Linsen im Vergleiche mit den Krümmungshalbmessern, ein genügend spitziger Strahlenkegel, sohin geringes Gesichtsfeld. Da es aber nun optische Instrumente gibt, bei denen grosses Gesichtsfeld und das höchst mögliche Mass von Lichtstärke die wesentlichsten Erfordernisse sind, wie Camera obscura, Sonnenmikroskop, Kometensucher, Operngucker; so ist gerade bei diesen Instrumenten von der gleichmässigen Vertheilung der Brechungen in der Regel nichts zu erwarten. Nur das langgestreckte astronomische oder terrestrische Fernrohr und das Mikroskop in seiner jetzigen Form, Instrumente, die in ihrer gegenwärtigen Gestalt zum dereinstigen Untergange bestimmt zu sein scheinen, vermögen mit Hilfe dieser Grundregel ohne weitere tiefsinnige Berechnung zusammenprobirt zu werden, und es wird eine Zeit kommen, wo man sie von dem Gebiete der strengen Optik ausschliessen und in das andere der Beleuchtungslehre verweisen wird, wo diese Regel auch hingehört.

Drittens. Die auf diese Weise ihrer Natur und Wirkungsweise nach erkannten optischen Elemente werden nun eingetheilt in solche, die zur Beleuchtung in die Ferne, und solche, die zur Beleuchtung in die Nähe dienen können und die Quantität Licht, das sie seiner Bestimmung zuführen, einer genauen Berechnung unterworfen.

Endlich viertens folgen die Entwürfe verschiedener zu bestimmten Zwecken construirter Beleuchtungsapparate sammt ihrer zusammenhängenden Theorie. Unter ihnen gibt es einige, die ihrem Baue nach nothwendiger Weise viel complicirter sein müssen, als man auf den ersten Anblick denken sollte.

Die so gegliederte Beleuchtungslehre nun bildet einen zweiten Abschnitt meines optischen Werkes von bedeutender Ausdehnung und mit vielen Zeichnungen; denn es lag in meiner Absicht alle diejenigen Bestandtheile meiner Untersuchung, die der ersten Annäherung angehörig sind und noch in keine allzu bedeutenden Rechnungen verwickeln, so ausführlich und populär hinzustellen, dass jeder optische und Beleuch-

tungskünstler, der sich die elementaren Kenntnisse der Mathematik erworben hat, ohne Anstand davon Gebrauch machen könne.

Ich setze den Fall, es gäbe jetzt noch keine Dampfmaschinen; ein scharfsinniger Gelehrter hätte sich jedoch alle möglichen Kenntnisse über Druck, Wärmecapacität der Wasserdämpfe verschafft, in gleichem die Kenntniss aller möglichen mechanischen Hilfsmittel, so bliebe es doch für ihn eine sehr missliche Aufgabe ein theoretisch-praktisches Werk über Dampfmaschinen zu schreiben, mit den dazu gehörigen Zeichnungen und detaillirten Entwürfen. Die überall ganz unvermeidlichen Schwierigkeiten der Ausführung, ferner Nebenumstände, an die man anfänglich gar nicht gedacht hat, und die sich doch später geltend machen, oft solche, die erst die Erfahrung aufdeckt, würden ihn vermuthlich so sehr abschrecken, dass er von einer solchen Arbeit lieber ganz und gar abliesse.

Die im Wesentlichen ebenfalls ganz neue Beleuchtungslehre begründet bei mir auch ähnliche Bedenken und ich würde ganz gewiss diesen Abschnitt vollständig streichen, wenn mir nicht zufälliger Weise Gelegenheit geboten worden wäre, eine gewisse Anzahl von Beleuchtungsapparaten zu verschiedenen Zwecken und von verschiedenem Baue praktisch auszuführen.

Ich sehe mich hiedurch in den Stand gesetzt, die Beleuchtungslehre auch auf Grundlage einer gereiften Erfahrung, mindestens was Verwendung des Lichtes anbelangt, zu einem geschlossenen Ganzen abzurunden. In einer andern Rücksicht, Erzeugung des Lichtes nämlich, liegt sie jedoch als Wissenschaft leider noch in der Wiege und ich muss bedauern, dass ich gar nicht einmal der rechte Mann bin, sie vollständig zu entwickeln und gross zu ziehen. Desto erspriesslicher wird es aber, die Jünger der Wissenschaft darauf aufmerksam zu machen, damit der Gegenstand andere, geschicktere Bearbeiter finde.

Ich will Ihnen zu diesem Ende ein Stück Biographie meiner Beleuchtungslehre mittheilen, damit Sie daraus ersehen, was ich auf diesem Felde geleistet habe, und dann dasjenige vorführen, was meinem Bedünken nach zu leisten ist.

Ich wurde vor etwa zwölf Jahren von einem Freunde ersucht, einen Beleuchtungsapparat für sogenannte Nebelbilder zu dem von mir berechneten Cameraobscura-Objecte hinzuzufügen und wurde dadurch veranlasst, dem Beleuchtungsprobleme überhaupt eine erhöhte Aufmerksamkeit zuzuwenden. Eine wissenschaftliche Analysis der

bisher bestandenen Geräthschaften dieser Art überzeugte mich sehr bald von der heillosen hier waltenden Lichtverschwendung, so dass oft von dem ganzen, einer Leuchtquelle entströmenden Vorrathe kaum der 30. Theil sich als nutzbringend verwendet erwies; der ganze übrige Rest aber im inwendig schwarzen Kasten stecken blieb.

Jedermann kann sich hievon selbst überzeugen, wenn er z. B. den Bau einer gewöhnlichen Laterna magica ins Auge fasst, der auch durch andere künstlichere Beleuchtungsvorrichtungen an Zweckmässigkeit nicht sonderlich übertroffen wird. Da findet sich nun gewöhnlich ein Beleuchtungsspiegel oder eine Linse. Die Leuchtquelle oder langgestreckte Kerzen- oder Lampenflamme wirft darauf einen Lichtkegel, dessen Lichtmenge sich zur Total-Quantität verhält, wie der Sinus versus des Winkels an der Kegelspitze zum Kreisdurchmesser. Da nun dieser Winkel bei einer Linse über 60 Grade nicht betragen kann, und da der Spiegel selten mehr, als einen solchen Winkel von 90 Graden bietet, deren Pfeiler sich zum Durchmesser verhalten wie 7 : 1 und 16 : 1; da noch überdies die Linse ungefähr $1/_5$, der verwendete optische Spiegeltheil ungefähr die Hälfte des Lichtes unregelmässig zerstreut: so sieht man auch sogleich ein, dass in den zwei Fällen von Linse und Spiegel beiläufig $1/_{20}$ und $1/_{14}$ des ganzen Lichtquantums wirklich beleuchten.

Aber selbst von diesen geringen Bruchtheilen kommt in der Regel nur ein Theil, beiläufig $1/_3$ des Lichtes beim bildmachenden Objective aus dem Kasten heraus, weil das Bild der Leuchtquelle, welches von der Beleuchtungslinse oder dem Spiegel gemacht wird, wenn es auch an die rechte Stelle fällt, doch in der Regel in seiner gestreckten Gestalt die Objectivöffnung an Grösse überbietet, demnach von der Linsenöffnung nur theilweise aufgenommen, und so nur zum Theile seiner Bestimmung zugeführt wird.

Indem ich nun über die Mittel einer zweckmässigen Ökonomie nachdachte, kam ich zuerst auf die merkwürdige Thatsache, dass jeder Spiegel in zwei Theile zerfalle, den optischen und nicht optischen, die durch eine bestimmte krumme Linie geschieden sind, und habe die allgemeine Regel festgestellt gefunden, dass zu Beleuchtungszwecken im Allgemeinen die nicht optische Abtheilung die verwendbare und zur Beleuchtung in der Nähe sogar unvermeidlich sei.

Der verlangte Nebelbilder-Apparat wurde nach meiner Angabe ausgeführt und mit Drummond'schem Lichte eingerichtet. Er hat

gegen 60 Procent des totalen Lichtquantums nutzbringend verwendet und hätte 75 Procent reinen Nutzeffect liefern können, wenn es mir nur gelungen wäre, den Künstler, dem die Ausführung übertragen war, zu überzeugen, dass der Apparat in allen Einzelheiten genau nach der Zeichnung verfertigt werden müsse und dass dabei ohne Schaden gar Nichts, weder eine Linse, noch Spiegelkrümmung, noch die Form einer Fassung einer Willkür unterliege.

Der fertige Apparat wurde einmal in der Versammlung der Freunde der Naturwissenschaften in den geräumigen Localitäten des Münzgebäudes gezeigt und ich habe durch ein rohes, nur beiläufige Resultate lieferndes Messverfahren eine Lichtstärke von 12,000 Millykerzen nachgewiesen, während der von Knallgas angeblasene Kalkcylinder im Innern des Apparates in einem Lichte von etwa 1000 Kerzen strahlen mochte. Die Leistungen dieses Nebelbilder-Apparates liessen sich jedoch, wenn auch nur momentan, noch über das Doppelte erhöhen.

Einmal in dieser Richtung beschäftigt, habe ich nicht nur das Drummond'sche Licht in seiner Verwendungsweise zu Beleuchtungszwecken zum Gegenstande meiner Untersuchungen gemacht: ich habe dieselben vielmehr auch auf das populäre Lampenlicht ausgedehnt.

Ich besitze jetzt noch eine ganze Garnitur von verschiedenen Lampenbrennern mit zwei und drei in einander steckenden Dochten. Dies ist keine neue Erfindung; schon Fresnel hat solche Lampen bei seinen Pharen angewendet. Ich nehme jedoch an, dass er die zweckmässigste Construction derselben, die der grössten möglichen Lichtstärke entspricht, nicht hatte, weil zu seiner Zeit die Pumpvorrichtungen noch nicht bekannt waren.

Ich habe mit meinen Lampen sehr oft die Bevölkerung des Hauses, in dem ich wohnte, allarmirt, wenn ich zwei solche neben einander anzündete, von welchen die eine ein Licht von 200 Kerzen, die andere eines von 40 Kerzen gab und vielleicht noch durch etwas hinzugeblasenen reinen Sauerstoff die Fenster meines Gemaches in dem intensivsten Lichte strahlen liess.

Es sind nach meiner Angabe auch solche Nebelbilder-Apparate mit Lampenlicht construirt worden, und ich habe genügende Gelegenheit gefunden, alle möglichen Unfälle kennen zu lernen, die sich hier in der Praxis ereignen können, als: Verbrennen des Kastens

durch die Lampenhitze, zerschmetterte Beleuchtungslinsen durch die sich umkehrende Spitzflamme des Knallgases, sammt den zur Vermeidung solcher unglücklicher Ereignisse dienlichen Mitteln.

Ich bin zu dieser Zeit im freundschaftlichen Verkehre gestanden mit den Officieren des k. k. Bombardier-Corps. Einer dieser wissenschaftlich hochgebildeten Männer, zugleich ein verdienstvoller militärischer Schriftsteller, forderte mich auf, auch über einen Beleuchtungsapparat in die Ferne zum Gebrauche für Flussdampfschiffe nachzudenken. Dies geschah; und ich fand dabei Gelegenheit die verschiedenen Hilfsmittel, die zu Beleuchtungszwecken tauglich sind, einer recht gründlichen mathematischen Würdigung zu unterziehen.

Der Entwurf dieses Beleuchtungs-Apparates war so gestellt, dass die Punkte gleicher Lichtstärke in die Peripherie einer langgestreckten Ellipse fielen, von der das Schiff den Mittelpunkt bildete. Ich hielt es nämlich für das zweckmässigste, diesen Apparat so einzurichten, dass in die Entfernung von 1000 Klaftern nach vorwärts fallende Gegenstände und die etwa auf 100 Klafter seitwärts liegenden Uferstellen einerlei Beleuchtungsstärke erhalten.

Wir haben mit diesem Entwurfe bei dem damaligen Directorium der Dampfschifffahrtsgesellschaft kein Glück gemacht, wurden als gewöhnliche Projectenmacher mit der gebührenden Verachtung behandelt und gar nicht zur Audienz vorgelassen.

Die Erinnerung an die gekränkte Stimmung des würdigen Officiers und an meine eigene daraus entspringende komische Verlegenheit in dieser delicaten Situation gehört zu den pikantesten meines Lebens.

Der Entwurf war übrigens gemacht und konnte, wenn auch dem Leben, doch wenigstens der Wissenschaft nicht mehr entzogen werden.

Das Problem des Leuchtens in die Ferne ist indessen ein sehr altes, oft dagewesen, nie gelöst und doch beim Anfange eines jeden Krieges wiedergekehrt; daher mochte es kommen, dass nach Ablauf von neun Jahren die Anforderung zum zweiten Male an mich gestellt wurde, und zwar auf Anregung des Ingenieur-Majors Freiherrn von Ebner, durch den Chef des Geniewesens, verstorbenen Feldmarschall-Lieutenant von Caboga.

Ich habe dieser Anforderung nach eingeholter Genehmigung meiner höchsten Behörde, des k. k. Ministeriums des Cultus und

Unterrichtes, Folge geleistet, einen für den Festungskrieg bestimmten Beleuchtungsapparat dieser Art, dessen Wirksamkeit sich erstrecken soll auf 1400 Klafter, die Tragweite der weittreibenden Bomben-Mörser, mit seiner ganzen, zur sicheren Handhabung nothwendigen Montirung entworfen und zur praktischen Ausführung in allen seinen dioptrischen, katoptrischen und metrischen Bestandtheilen die nothwendigen Schritte eingeleitet. Die Schwierigkeiten eines solchen Unternehmens sind gross, sowohl in theoretischer, wie in praktischer Beziehung. Es ist daher kein Wunder, wenn dasselbe langsamer vor sich ging trotz des grossen Interesses, welches ein solches Erzeugniss für mich haben musste, das einen von mir abgerundeten Kunst- und Wissenschaftszweig in praktischer Beziehung so zu sagen completirt.

In Anbetracht des Umstandes, dass es optische Mittel gibt in grosser Auswahl und Mannigfaltigkeit, dürften wohl diese Schwierigkeiten nicht Jedermann einleuchten und dies, da Kraft einer historischen Sage schon Archimedes mit einem optischen Apparate die Flotte der Römer bei Syrakus angezündet haben soll. Wäre dies vollkommen richtig, so wäre auch der Beweis factisch hergestellt dass man das irgend einer Leuchtquelle entnommene Licht nach einem beliebigen Orte in willkürlicher Intensität, die bis zu Verbrennungswirkungen gesteigert werden kann, hinzuwerfen im Stande sei. So wie nun die Wissenschaft vielen anderen historischen Sagen widerspricht, so kann sie sich auch mit dieser nicht befreunden, und wenn einige Gelehrte eine allerdings vorhandene theoretische Möglichkeit sehen, solch' einen Zweck durch eine grosse Menge von Planspiegeln zu erreichen, so ist dagegen in den ungeheueren Dimensionen, die ein solcher Apparat haben müsste, und der Schwierigkeit, denselben zu handhaben, eine um so auffallendere praktische Möglichkeit begründet. Brennspiegel wirken allerdings zündend, aber, wie eine leichte Überlegung zeigt, nur auf eine mässige, mit ihren Dimensionen vergleichbare Entfernung, und die Verdichtung des Lichtes, die man durch sie erzielen kann, hat ihre gewissen Grenzen, die sich nicht überschreiten lassen und die einerseits abhängig sind von den Dimensionen des Apparates, andererseits aber von der Entfernung nach der sie wirken sollen und mit welcher ihre Wirksamkeit im umgekehrten quadratischen Verhältnisse abnimmt. Desshalb macht zwar Libri in seiner Histoire de Mathématique Erwähnung von dieser Sage,

er sagte aber: On a beaucoup parlé des miroirs ardens avec lesquels il aurait incendié les vaisseaux de Marcellus. Ce fait, qui ne se trouve pas dans les plus anciens auteurs, a été l'occasion de disputes très animées parmi les modernes; mais quoique Dufay et Buffon aient prouvé qu'il est possible, avec des miroirs, d'allumer du bois à de distances considérables, ils n'ont fait que diminuer la difficulté, car il est peu probable, que le vaisseaux de Romains restassent dans l'immobilité nécessaire à ce genre d'expériences, et il paraît fort difficile qu' Archiméde voulût choisir un moyen si peu praticable, lorsqu'il y avait tant d'autres manières de mettre le feu à une flotte, qui aurait été à la portée de ses réflecteurs.

Die Aufgabe ist also und bleibt eine schwierige, weit schwieriger, als die der Leuchtthürme, die nur gesehen werden wollen, denn hier handelt es sich um etwas, was schwerer zu erzielen ist, man will nämlich mittelst des Apparates in die Ferne sehen.

Um sich von dieser Schwierigkeit einen Begriff zu verschaffen, nehme man an, Jemand wolle von der Höhe des Leopoldsberges, der sich etwa 30,000 Fuss ab vom Stephansthurme befinden dürfte, in finsterer Mitternacht das Licht von einer einzigen Millykerze auf die Thurmuhr werfen, vielleicht um zu sehen, wie viel es an der Zeit sei; so benöthigt er an diesem Punkte 900 Millionen Kerzen. Dies charakterisirt die Schwierigkeit noch nicht ganz. Gesetzt nämlich den Fall, er zündet dort wirklich die 900 Millionen Kerzen an, den Berg dadurch in eine Feuerpyramide verwandelnd, so sieht er damit erst noch gar nichts, als höchstens sich selbst in glänzender Beleuchtung.

Es dürfte vielleicht paradox klingen und ist in gewisser Beziehung doch wahr, wenn man behauptet, wer ferne Gegenstände sehen will, muss die Beleuchtung durch ein möglichst kleines Lichtquantum zu bewerkstelligen suchen.

Es ist dies einer der wenigen merkwürdigen Fälle, wo sich mit Gewalt wenig, mit einer klugen Ökonomie hingegen Alles ausführen lässt.

Nicht minder gross sind aber auch die praktischen Schwierigkeiten. Der Apparat muss nämlich in namhaften Dimensionen, denen seine Tragweite proportional ist, construirt werden und zerfällt in einen dioptrischen und katoptrischen Theil. Er erheischt einen grossen Reflector von vier Fuss Öffnung mit bedeutender Genauigkeit, und

dabei doch möglichst leicht, damit die Handsamkeit nicht verloren gehe, aus einem elastischen Metallbleche construirt; ferner Linsen in künstlicher Zusammenfügung von sehr namhaften Dimensionen. All' diese Gegenstände waren bisher in der nothwendigen Vollkommenheit der Ausführung unserer Industrie unbekannt, und es mussten neue Hilfsmittel geschaffen werden, um sie zur Ausführung zu bringen.

Gelang es auch bisher, alle diese Hindernisse zu überwinden, so war doch ein sehr bedeutender Zeitaufwand damit verknüpft. Ich muss mit schuldigem Danke anerkennen, dass mir überall mit Billigkeit und Bereitwilligkeit entsprochen worden ist. Ist dies auch oft nicht mit der meiner Ungeduld entsprechenden Beschleunigung geschehen, so geschah dies entweder darum, weil es mit namhaften Opfern verknüpft gewesen wäre, und grosse Opfer um geringen Lohn verlangen, bleibt selbst in der stets opferfertigen Wissenschaft unbillig, oder darum, weil dem Industriellen neue Verfahrens-Arten zugemuthet werden mussten, die erst zu erdenken waren (und Erdenken ist selbst bei Denkern von Profession ein langsames Geschäft, und um so mehr bei Männern, die durch ihren Beruf mehr auf manuelle Fertigkeiten verwiesen sind) und noch überdies durch andere Drangsale der Industrie, die in unseren socialen Verhältnissen begründet sind.

Endlich ist durch die bereitwillige Unterstützung, welche mir von Seiten des Herrn Porzellan-Fabriksdirectors Löwe durch Überlassung eines eigenen Ofens zum sorgfältigen Kühlen der Linsengläser zu Theil geworden ist, die letzte erhebliche Schwierigkeit überwunden, und der Beleuchtungs-Apparat schreitet nun eines stetigen Schrittes seiner Vollendung entgegen, so dass ich mich noch vor Ablauf eines Jahres und vermuthlich schon bis zum kommenden Spätherbste in den Stand gesetzt sehen werde, Ihnen dieses besonders interessante, seinem Baue nach sehr complicirte Erzeugniss einer erst aufkeimenden Kunst vorzuführen.

Die Beleuchtungslehre halte ich hiemit, wie schon gesagt, für genügend theoretisch sowohl, wie praktisch begründet, insofern als es sich um Verwendung des gegebenen Lichtes handelt. Einer Kunst jedoch, Licht zu erzeugen, fehlt bisher immer noch die theoretische Begründung.

Ich muss mich wohl etwas näher erklären, damit Sie sehen, wie ich dies meine.

Die künstliche Erzeugung des Lichtes geschieht stets durch einen Verbrennungsprocess, und es hängt die Menge des erzeugten Lichtes nicht nur ab von der Temperatur, sondern auch von anderen, ihrer Natur nach noch nicht gehörig studirten Ursachen. Durch den Athmungsprocess wird z. B. Kohlensäure gebildet durch eine bei geringer Temperatur vor sich gehende Verbrennung und desshalb auch ohne Lichtentwickelung, wiewohl die Menge des verbrauchten Brennmateriales eine sehr bedeutende sein kann. Sehr geringe Quantitäten von Brennstoff erzeugen hingegen bei sehr hoher Temperatur der Verbrennung das im hohen Grade intensive Drummond'sche Licht. Es besteht also zwischen Wärme und Licht ein besonderer Zusammenhang, der ungeachtet aller Bemühungen doch noch nicht vollständig aufgeklärt ist.

Der erste Gelehrte, der eine geordnete Theorie der Verbrennung mit Bezug auf Lichtentwickelung zu geben bemüht war, ist der englische Physiker Davy. Er wies bekanntlich nach, dass zwar auch Gase bei der Verbrennung Licht entwickeln, aber als solche nur in äusserst geringem Masse. Nur dann, wenn sie während des Verbrennungsprocesses einen festen Körper in Pulverform abscheiden, der dann in den Zustand des intensiven Glühens versetzt wird, erhält man eine Flamme von intensiverer Leuchtkraft. Ihre Lichtintensität hängt nun aber wieder von der Reinheit des Brennmateriales und in letzter Instanz vermuthlich abermals von der Temperatur ab, unter welcher die Verbrennung vor sich geht.

Ich finde mich veranlasst, hier Erwähnung zu thun eines von mir mit einer Lampe mit drei concentrischen Dochten angestellten Versuches, den man beinahe ein Fundamental-Experiment nennen könnte; so sehr fällt dabei die Abhängigkeit der Leuchtkraft von der Hitze in die Augen. Hat man nämlich die drei in einander steckenden Lampenflammen gehörig regulirt, so erscheinen sie dünn, ätherisch und durchsichtig, in einem herrlichen weissblauen Lichte, eine durch die andere durchscheinend. Löscht man jetzt durch Zurückziehen des Dochtes die innerste dieser drei Flammen, so bemerkt man alsogleich, dass die zwei übrigen an Glanz verlieren, viel lichtschwächer, höher und undurchsichtiger werden. Löscht man auf dieselbe Weise nun auch die mittlere, so dass nur die äusserste übrig bleibt, so hat dieselbe nach dem Urtheile des den intensiven Lichteindruck noch bewahrenden Auges all' ihren Glanz verloren, erscheint ganz undurch-

sichtig, gelb von Farbe und beinahe so, als wenn sie mit Ölfarbe von einem Maler auf die Leinwand gepinselt wäre.

Dieses Experiment wird nun wohl jeden Beobachter zu folgenden Schlüssen verleiten.

Erstens: Mehrere Dochte bewirken mehr Berührung mit dem Sauerstoffe der Luft und hiemit ein unverdünnteres, folglich heisseres Verbrennungsproduct. Je höher also die Temperatur der Verbrennung ist, desto weniger Kohlentheilchen scheinen abgesondert zu werden, daher die grosse Durchsichtigkeit und das ätherische Aussehen der Flamme.

Zweitens: Diese vermuthlich in geringerer Menge abgeschiedenen Kohlentheilchen glühen intensiver und verbrennen schneller, daher das trotz des ätherischen Aussehens entwickelte ungleich intensivere Licht.

Drittens: Die Ursache, dass glühende feste Körper ungleich heller leuchten, als entzündete Gase, scheint demzufolge auch nur wieder in der höheren Temperatur zu liegen. Kohle nämlich, so wie Platinschwamm und andere feste Körper, haben bekanntlich die Eigenschaft, Sauerstoffgas in ihren Poren namhaft zu verdichten; Kohle z. B. bis zum 30fachen des Volumens. Dies heisst mit anderen Worten: Um ein jedes Kohlentheilchen herum bildet sich durch Molecularanziehung eine verdichtete Sauerstoff-Atmosphäre von beinahe 30 Atmosphären Druck. Diese Atmosphärenbildung findet beim Entstehen des Kohlentheilchens plötzlich Statt, ist somit mit sehr bedeutender Wärme-Entwickelung verknüpft, und die Leuchtkraft eines solchen Theilchens ist gegen jene entflammter Gase nur darum so gross, weil es auch die Verbrennungs-Temperatur ist.

Ich glaube die momentane Verdichtung sei hier ein sehr wesentlicher Umstand, denn bereits gebildete Kohle, die sich ihre Sauerstoff-Atmosphäre bereits allmählich angeeignet hat ohne Erhitzung, leuchtet beim Glühen lange nicht so hell.

Es kann diese Ansicht richtig sein oder nicht: eines ist jedoch gewiss, wenn man nicht mehr weiss, als *dieses*, so heisst dies noch nicht Wissenschaft, weil die mathematische Präcision fehlt. Diesen richtigen, quantitativ bestimmten, zwischen Temperatur und Lichtstärke bestehenden Zusammenhang auf was immer für einem Wege durch Experiment oder Calcul zu ermitteln, ist eine annoch ungelöste Aufgabe der technischen Beleuchtungslehre, und so interessant

es auch wäre, auf dem von Davy eingeschlagenen Wege fortzugehen und die Lösung derselben zu versuchen, so wenig bin ich dazu geeignet, weil ich nicht über Leuchtgas disponire, mit dem man am zweckmässigsten derlei Untersuchungen beginnen könnte, weil ich ferner zu den dazu unerlässlichen genauen quantitativen Bestimmungen ein ganzes Cabinet verschiedener Geräthe benöthigen würde, deren Gebrauch mir theilweise nicht einmal recht geläufig ist, und weil endlich solche Experimente das Auge zu sehr angreifen, an dessen möglichst langer Erhaltung mir als theoretischem und praktischem Optiker viel gelegen sein muss. Endlich ist überhaupt der Gegenstand ein solcher, der am passendsten durch mehrere Experimentatoren und vorzugsweise solche, die mit chemischen und physicalischen Cabineten bereits versehen sind, und die über eine grössere Anzahl von Gehilfen disponiren, nach dem Grundsatze der Arbeitstheilung unternommen und auch zu Ende gebracht werden kann.

Die Art des Experimentirens im Sinne Davy's scheint durch den angegebenen Versuch bereits gegeben und wäre etwa die folgende: Wenn durch Einschachteln zweier und dreier cylindrischer Flammen in einander zu gleicher Zeit die Durchsichtigkeit und die Lichtstärke gesteigert werden, so ist wohl zu erwarten, dass beide noch ferner wachsen werden, wenn man 4, 5 und noch mehr Flammen in einander steckt. Ins Unendliche können diese beiden Wirkungen nicht zunehmen, weil einerseits die zunehmende Durchsichtigkeit, die ja der Abnahme der Zahl glühender Kohlentheilchen entspricht, am Ende die Lichtstärke beeinträchtigen müsste, und weil auch die Verbrennungstemperatur der Natur der Sache nach nicht fortwährend wachsen kann, sondern gegen eine bestimmte Grenze convergiren muss. Es gibt also hier ein Maximum, welches auf dem Wege des Experimentes aufzusuchen wäre und zwar in dreierlei verschiedenen Bedeutungen. Erstens: die grösste Lichtmenge, welche von einem Quadratzolle einer einzigen solchen cylindrischen Flamme ausströmen kann; zweitens: das grösste mögliche Quantum Licht, welches ein Quadratzoll der äussersten Oberfläche eines ganzen Conglomerates cylindrischer Flammen in den Raum sendet; drittens: die grösste mögliche Menge Licht, welche man aus einem Pfunde Brennmaterial erhalten kann.

Hiebei wäre es gleichgiltig, ob man den Sauerstoff als Brennmaterial betrachtet, oder Wasserstoff und Kohle. Zur gehörigen quantitativen Ermittlung dieses dreifachen Maximums müssten nun

nothwendigerweise Rechnung und Experiment concurriren. Hätte man sich aber einmal diese fundamentalen Daten verschafft, so wäre es, meine ich, nicht so schwer, die Einflüsse in Rechnung zu ziehen, welche durch Abkühlung die Temperatur und Lichtstärke zugleich beeinträchtigen.

Ich glaube, dass man diese Experimente schicklicher mit Leuchtgas, als mit einem tropfbar flüssigen Brennmateriale anstellen wird, weil schon bei einer dreifachen Lampe die Erhitzung des Öles eine sehr beträchtliche ist. Zehn Pfund davon, die sich im Lampenkörper befinden, mit einem ziemlich starken Pumpwerke in die Höhe getrieben, bewirken noch nicht recht die nothwendige Abkühlung. Das Öl wird braun und bekommt nach einigen Stunden Syrupsdicke. Leuchtgas hingegen gestattet eine grössere Mannigfaltigkeit von Brennerformen, die das Zuströmen der atmosphärischen Luft zu der Flamme minder beeinträchtigen, und ich zweifle keinen Augenblick daran, dass solche Versuche, angestellt mit Musse und Bedacht, die Beleuchtungs-Industrie mit neuen Erzeugnissen bereichern würden. Schon gegenwärtig, wo ja noch gar keine genauen Experimente vorliegen, weiss man, dass das Licht desto kostspieliger ist, in je kleinere Parzellen es vertheilt und so in Gestalt kleiner Flammen verwendet wird. Die Lampe von 200 Kerzen Licht mit drei concentrischen Dochten, von der ich spreche, verzehrt keineswegs 25 Mal so viel Öl, als eine gewöhnliche, die ein Licht von 8 Kerzen liefert, sondern nur höchstens 8 Mal so viel. Wer daher die Wahl hat, einen bestimmten Raum, z. B. eine lange gerade Strasse zu erleuchten mit Einer oder nach Belieben mit 25 verschiedenen Flammen, und dabei mit der grössten möglichen Ökonomie vorgehen will, der wird offenbar eine einzige Flamme, in der Mitte der Strasse aufgestellt und behufs der zweckmässigen Vertheilung mit einem passenden Beleuchtungsapparate verknüpft, vorziehen. Es ist wohl kaum ein Brennmaterial, wenn man das Gewicht berücksichtigt, theurer, als Knallgas, und doch ist es dort, wo man die sehr bedeutende Lichtstärke von 1000 und mehr Kerzen benöthigt, von allen bei weitem das wohlfeilste, bei dem jetzigen Zustande unserer Kenntnisse wenigstens; denn was ein gründliches Studium des Leuchtmaterials in der Folge bringen kann, kann man ja noch nicht wissen.

So wenig zu bestreiten ist: dass die Flamme des Ölgases einer gründlichen wissenschaftlichen Untersuchung werth sei, so verdienen

jene solche gewiss auch das Drummond'sche und elektrische Licht. Auch hier fehlen uns die quantitativen Bestimmungen der Maxima der Lichtstärken in ihren verschiedenen Bedeutungen. Es ist zwar sehr wahrscheinlich, dass diese Lichtsorten an Intensität dem Sonnenlichte überlegen sind in dem Sinne, dass ein Quadratzoll durch Knallgas weissglühender Kalkoberfläche mehr Licht aussendet, als ein Quadratzoll der Oberfläche der Sonne; allein in welchem Masse dies stattfindet, das wissen wir nicht. Unsere Kenntniss dieser Lichtsorten ist somit auch noch keine wissenschaftliche, und es lässt sich keine Theorie darauf bauen.

Wien ist sehr reich an Hilfsmitteln für solche Untersuchungen. Vereinigen sich die intellectuellen Kräfte, die sich im Besitze derselben befinden, so dürfte eine schöne gerundete Theorie des äusserst interessanten Wissenszweiges sehr bald zu Stande gekommen sein.

Dass solche gründliche Untersuchungen über den Verbrennungsprocess ohne praktische Anwendung bleiben sollten, ist bei dem jetzigen Culturzustande der Völker durchaus nicht denkbar. Man kann sie vielleicht eine Zeit lang missachten, gerade, wie auch die schöne Arbeit Davy's kein besonderes Augenmerk auf sich gezogen hat; mit der Zeit werden sie aber doch ins Leben greifen.

Gewiss würde man noch vor einem Jahrhundert denjenigen einer krankhaften Phantasie beschuldigt haben, der von Eisenbahnen gesprochen hätte, die grosse Länder durchziehen, von Locomotiven und Dampfschiffen, von riesigen, durch ganze Meere gelegten Telegraphendräthen und anderen Wundern, die die Zeit gebracht hat, und die wir bereits schon mit Gleichgiltigkeit anzusehen anfangen, und vielleicht würde man auch gegenwärtig mit einigem Befremden die kühne Phantasie des Mannes anstaunen, der im prophetischen Geiste voraussagen würde, dass eine Zeit kommen wird, wo in allen Capitolen Europa's, ja selbst in den kleineren Städten überall ein beispiellos schlanker Bau hoch in die Luft sich erheben wird, gekrönt von einem durchsichtigen Pavillon, der eine riesenhafte Flamme enthält, die der ganzen Umgebung ein viel reichlicheres und gleichförmigeres Licht zusendet, als unser gegenwärtig gebräuchliches, ins Unendliche parcellirte Beleuchtungssystem. Und doch ist dies wenigstens sehr wahrscheinlich, weil selbst nach unseren jetzigen Einsichten auf dem Felde des technischen Beleuchtungsproblemes sehr bedeutende Ersparnisse an Kosten, die mit der Concentration des Lichtes vieler

Flammen in eine einzige verknüpft sind und andere ebenso grosse Ersparnisse, die der zweckmässigeren Verwendung, die erst durch grosse Flammen möglich wird, anhängen, nachgewiesen werden können. Ein einziger gelungener Versuch dieser Art zieht andere noch grossartigere nach sich und die Sache endigt damit, eine allgemeine zu werden.

Diese Auseinandersetzungen dürften wohl genügen, um darzuthun, wie ich dies meine, wenn ich sage, ich könnte Ihnen zwar eine mathematisch begründete Theorie der Lichtverwendung liefern, aber keine der Lichterzeugung auf eben so fester wissenschaftlicher Grundlage. Es liegt dies auch offenbar nicht in meinem Wirkungskreise, wiewohl ich nicht anstehe, zuzugeben, dass ich als Mathematiker zur Mitwirkung berufen sein dürfte. Das Sprichwort: „Sutor ne ultra crepidam" hat gewiss einen praktischen Werth, denn das menschliche Leben ist kurz und ich werde mit der Entwickelung der Keime, die sich mir auf dem Felde der reinen mathematischen Wissenschaften geboten haben, genügend beschäftigt sein. Dies schliesst jedoch den Wunsch nicht aus, auch eine strenge Theorie der Lichterzeugung unter dem Schutze der kaiserlichen Akademie entstehen zu sehen, denn es würde dies gar sehr dazu beitragen, meine lang gepflegten optischen Untersuchungen zu einem lückenlosen Ganzen abzurunden.

Man hat sich in der Neuzeit bekümmert um das mechanische Äquivalent der Wärme, man hat der Verwandlung der Elektricität in Wärme und Magnetismus die gebührende erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt. Die Umsetzung der Wärme in Licht ist gewiss kein minder interessanter Forschungs-Gegenstand und unter allen derartigen vermuthlich der dankbarste, d. h. derjenige, der vorzugsweise präcise Resultate und praktischen Nutzen verspricht.
